

**МОДЕЛЬ ВНЕШНЕГО АРМИРОВАНИЯ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ
КОНСТРУКЦИЙ**

Кунин Юрий Саулович

*Заведующий кафедрой «Испытание сооружений» Института строительства
и архитектуры МГСУ, профессор, кандидат технических*

Мочалов Александр Леонидович

Технический директор группы компаний «Практик»

Григорьева Яна Евгеньевна

*Аспирант кафедры «Испытание сооружений» Института строительства
и архитектуры МГСУ*

Широкое внедрение элементов внешнего армирования из углеродного волокна для усиления изгибаемых железобетонных конструкций предполагает разработку инженерных методов расчета, к которым предъявляются следующие требования:

- предпосылки расчета не должны противоречить действующим нормам (СП, СНиП) и практике проектирования;
- методы должны отвечать физическим особенностям работы углепластиковой арматуры в железобетоне.

Поскольку в практике монолитного домостроения преобладают изгибаемые конструкции с пролетами до 6,0 м, устранение строительного или проектного брака, осуществляемое с применением углепластиковой арматуры, сводится к повышению прочности нормальных сечений. В рассматриваемых ситуациях по результатам статического расчета определяют дефицит несущей способности, выраженный в дефиците арматуры, и подбирают требуемое количество внешней углепластиковой арматуры через соотношение прочностей углепластиковой и стальной арматуры (оно колеблется в диапазоне 7-11).

Повышение жесткости и трещиностойкости с помощью внешней углепластиковой арматуры в расчетах **не рассматривается** исходя из следующих предпосылок:

1. Исходная изгибная жесткость нормального сечения практически не меняется при применении углепластиковой арматуры, поскольку из-за её высокой прочности её сечение невелико (соответственно в 7-11 раз меньше, чем у требуемой по расчету стальной арматуры).
2. Не учитывается снижение жесткости конструкции, подвергающейся усилению внешней углепластиковой арматурой. К моменту усиления изгибная жесткость железобетонной конструкции, как правило, далека от начальной и составляет в зависимости от развития и ширины раскрытия трещин 80-20% от начальной изгибной жесткости.

3. Не учитывается изменение расчетной схемы:

- вызванное деформированием и перераспределением усилий в конструкции, изменением условий закрепления в узлах;
- имеющиеся начальные прогибы, как правило, близкие к предельным или даже сверхнормативные, вызванные как технологическими причинами, так и действием нагрузки. Поскольку в статически неопределимых конструкциях существенную и благоприятную роль играет распор, который, как правило, не учитывается «в запас», появление сверхнормативных прогибов нивелирует его поддерживающее влияние и напротив, создает условия для появления растягивающих мембранных сил.

В данной работе предлагается проанализировать **фактическое повышение изгибной жесткости и трещиностойкости** железобетонной конструкции, имеющей трещины путем установки дополнительного углепластикового армирования. Для этого мы воспользуемся следующими известными представлениями:

- изгибная жесткость нормального сечения железобетонной конструкции, выраженная через напряжения в арматуре (п.7.3.13 СП 52-101-2003),

$$B = E_s / \psi_s * A_s * z * (h_0 - x_m) = \sigma / (\varepsilon * \psi_s) * A_s * z * (h_0 - x_m),$$

где для учета уровня трещинообразования используется коэффициент ψ_s , предложенный в работах В.И. Мурашова и Я.М. Немировского (формула 7.23 СП 52-101-2003),

$$\psi_s = 1 - 0,8M_{cr}/M.$$

Коэффициент ψ_s используется как интегральный индикатор жесткости и трещиностойкости;

- вычисление фактического влияния внешнего армирования на жесткость и трещиностойкость осуществляется по правилу «смесей», в варианте, используемом в механике композитов, т.е.

$$\psi_s^{\Sigma} * V_{\Sigma} = \psi_s * V_s + \psi_s^{carb} * V_{carb},$$

где ψ_s^{Σ} – обобщенный коэффициент ψ_s , характеризующий изгибную жесткость усиленного сечения через объемный, совокупный коэффициент армирования стальной и углепластиковой арматурой;

ψ_s – коэффициент ψ_s в классической трактовке Мурашева-Немировского, характеризующий составляющую от имеющейся стальной арматуры;

ψ_s^{carb} – коэффициент ψ_s в классической трактовке Мурашева-Немировского, характеризующий составляющую от углепластиковой арматуры;

V_{Σ} – объём растянутого бетона, на который распространяется совокупное влияние имеющейся стальной и внешней углепластиковой арматуры;

V_s – объём растянутого бетона, на который распространяется влияние имеющейся стальной арматуры;

V_{carb} – объём растянутого бетона, на который распространяется влияние внешней углепластиковой арматуры.

Объём растянутого бетона, т.е. величины $V_{\Sigma}, V_s, V_{carb}$:

$$V(\Sigma, s, carb) = k_r * b * (h_0 - x) * l_{cr},$$

где b – ширина сечения;

h_0 – рабочая высота сечения;

x – высота сжатой зоны в стадии работы железобетонного элемента, при котором производится усиление;

l_{cr} – расчетная длина зоны действия внешнего армирования, которая может принимать следующие значения:

$l_{cr} = l_s = 0,5 A_{bt} * d / A_s$ – расчетное расстояние между трещинами в трактовке Мурашова-Немировского;

$l_{cr}(M > M_{cr})$ – зона интенсивного трещинообразования, где принято решение об установке внешней углепластиковой арматуры;

$l_{cr} = l_{carbon}$ – рабочая длина зоны действия внешней углепластиковой арматуры,

k_r – коэффициент влияния внешней углепластиковой арматуры, связанный с радиусом влияния дополнительного армирования.

Этот коэффициент зависит от конструктивных особенностей внешней углепластиковой арматуры и мероприятий, обеспечивающих её совместную работу с имеющейся стальной арматурой и бетоном в сечении.

Например, если внешнее армирование представляет собой **углепластиковый стержень**, вклеенный в штрабу, его радиус действия определяется такими факторами, как:

- его осевая жесткость с учетом механических свойств материала, на который вклеивается стержень;
- место расположения в сечении;
- фактическая жесткость растянутой зоны железобетонного элемента на стадии усиления с учетом всей имеющейся там стальной арматуры, всех повреждений в виде трещин, участков деструктурированного бетона, отремонтированных участков т.д.).

Если внешнее армирование представляет собой **углепластиковую ленту** (заводского или построечного изготовления), которая приклеивается с наиболее растянутой от изгиба грани, радиус её действия так же определяется размерами зоны её влияния. Зона влияния ленты зависит от того, осуществлялось ли усиление изгибаемого элемента приклейкой только со стороны растянутой грани или с помощью внешнего косвенного армирования обеспечено её вовлечение в работу всего сечения.

Возможно рациональное сочетание различных типов внешнего армирования, т.е. комбинация углепластиковых стержней, лент и холстов. В этом случае может быть достигнут максимальный радиус влияния внешнего армирования при минимальном расходе арматуры, т.е. решается задача оптимизации.

На приведенных выше предпосылках основывается план экспериментально-теоретических исследований, цель которых определена как разработка адекватных расчетных моделей для анализа прочности и жесткости железобетонных изгибаемых конструкций, усиливаемых элементами внешнего армирования из углеволокна.

Библиографический список

1. Мурашов В.И. Трещиноустойчивость, жёсткость и прочность железобетона. – М., 1950.
2. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон. – М., 1971.
3. Фудзии Т., Дзак М. Механика разрушения композиционных материалов: Пер. с японск. – М.: Мир, 1982.